

Barrieren bei der Interaktion mit Virtual Reality Systemen

Martin Rademacher^{1,2}, Phillip Buczek^{1,2}, Carsten Dabs², Heidi Krömker¹

TU Ilmenau, Institut für Medientechnik, Fachgebiet Medienproduktion¹
AUDI AG, Abteilung Daten-Kontroll-Modell & Toleranzmanagement²

Zusammenfassung

Virtual Reality Systeme sind ein wesentlicher Bestandteil im Produktentwicklungsprozess, werden jedoch nicht von allen Beteiligten gleichermaßen intensiv genutzt. Die Studie hat zum Ziel aufgabenbezogene Barrieren bei den einzelnen Rollen zu identifizieren. Auf der Basis von Aufgabenanalysen wurden mit typischen Repräsentanten der Rollen qualitative Erhebungen durchgeführt, durch die 12 Barrieren extrahiert werden konnten.

1 Einleitung

In der Industrie nimmt die virtuelle Realität einen wichtigen Stellenwert als Werkzeug der virtuellen Entwicklung ein (Straub & Riedel 2006). So ist Virtual Reality (VR) bspw. in der Automobil- und Luftfahrtindustrie seit einiger Zeit effektiv im Einsatz (Ottosson 2002). In diesen Branchen wird versucht, die Akzeptanz der Virtual Reality Technologie für den Produktentwicklungsprozess weiter zu erhöhen.

Aktuell ist es möglich, Produkte zu einem frühen Zeitpunkt der Entwicklung realitätsgetreu zu visualisieren und unter bestimmten Aspekten zu bewerten. Diese Aspekte können beispielsweise die Herstellbarkeit des Produktes, die Visualisierung komplexer Sachverhalte wie z.B. Crash- oder Aerodynamikberechnungen (Oehlschlaeger 2008), oder die Evaluierung sowohl des grundsätzlichen Erscheinungsbildes als auch von Designkriterien umfassen. Bei allen Aufgaben spielt die nutzergerechte Gestaltung der Interaktion eine wesentliche Rolle.

VR-Systeme unterstützen eine Vielzahl von Aufgabenbereichen im Produktentwicklungsprozess, jedoch werden oft zusätzlich physische Modelle verwendet, um das Aufgabenziel zu erreichen. Eine Reihe von Arbeiten befasst sich mit der Akzeptanz (z.B. Mujiber 2004; Zachmann et al. 1999) bzw. Barrieren bei der Verbreitung (z.B. Wilson & D'Cruz 2006; Wilson et al. 2002) von Virtual Reality. Es finden sich darin jedoch keine aufgabenspezifischen Analysen. Eine Grundlage für das Erforschen der Akzeptanz der VR stellt die Extrak-

tion relevanter Merkmale der Nutzer und Nutzerinnen von VR-Systemen dar. Diese können durch Rollen und die damit verbundenen Aufgaben charakterisiert werden.

2 Ausgangssituation

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über Bereiche im Produktentwicklungsprozess, die VR-Systeme für den Aufgabenlösungsprozess einsetzen.

In der Literatur werden die folgenden Aufgabenbereiche aufgeführt:

- Burdea & Coiffet (2003) definieren die Verwendung von VR im Produktentwicklungsprozess als Virtual Prototyping. Darin enthalten sind Aufgabenbereiche wie Design Review, Ergonomieuntersuchungen und Montage- und Verbauuntersuchungen.
- Moreau et al. (2004) beschreiben, ähnlich wie Burdea & Coiffet, drei wesentliche Aufgabenbereiche im Produktentwicklungsprozess bei denen VR eingesetzt wird. Dies sind das Design Review, die Montageuntersuchung und die Ergonomieevaluierung.
- Im Gegensatz hierzu unterscheiden Mujiber et al. (2004) die beiden Bereiche Design und Prototyping. Während Design lediglich das Evaluieren von Design oder Designalternativen in einer virtuellen Umgebung beinhaltet, werden unter dem Begriff Prototyping die Aktivitäten Testen und Evaluieren spezieller Produktcharakteristika zusammengefasst, die ausschließlich mit Hilfe eines virtuellen Modells durchgeführt werden.

Das Designreview, die Ergonomie- und Montageuntersuchungen werden demnach von allen Autoren als etablierte Aufgabenbereiche genannt.

Beim Einsatz von VR-Systemen in der Automobilindustrie hat darüber hinaus jedoch ein weiterer Aufgabenbereich eine besondere Bedeutung. Hierbei handelt es sich um Anmutungs- und Qualitätsuntersuchungen unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien.

Dieser Aufgabenbereich erfordert sowohl eine ganzheitliche Sicht auf das virtuelle Modell als auch eine Kollaboration der Repräsentanten verschiedener Rollen für einen erfolgreichen Aufgabenlösungsprozess.

3 Durchführung der Studie

Die Studie hat das Ziel, Rollen, die VR-Systeme nutzen und ihre Aufgabenziele zu identifizieren sowie Barrieren im Aufgabenlösungsprozess zu beschreiben. Dazu wurden Aufgabenanalysen und Interviews mit Repräsentanten der Rollen durchgeführt.

3.1 Auswahl des Aufgabenbereichs

Ausgehend von den in der Literatur aufgeführten Aufgabenbereichen wurden Interviews mit Vertretern der Rolle „Ersteller VR-Inhalt“ in den durch VR unterstützten Aufgabenbereichen durchgeführt. Mit Hilfe dieser Interviews konnten die an den unterschiedlichen Aufgabenbereichen beteiligten Rollen für anschließende Aufgabenanalysen identifiziert werden.

Den Zusammenhang zwischen Rollen und Aufgabenbereichen im Produktentwicklungsprozess zeigt Tabelle 2. Der Aufgabenbereich „Absicherung Anmutung und Qualität“ wurde für die durchgeführte Studie ausgewählt, da an ihm fast alle Rollen beteiligt sind und hier auch die meisten physischen Modelle als Ergänzung im Aufgabenlösungsprozess eingesetzt werden.

Rollen	Aufgabenbereiche			
	Montage- untersuchungen	Design Review	Ergonomie- untersuchung	Absicherung Anmutung und Qualität
Ersteller VR-Inhalt	X	X	X	X
Produktionsplanung	X			X
Qualitätssicherung				X
Entwicklung	X			X
Ergonomie			X	
Design		X		X
Entscheidungsgremium		X		X

Tabelle 1: Rollenzuordnung zu unterschiedlichen Aufgabenbereichen

3.2 Methode und Systemspezifikation

Insgesamt wurden 20 Repräsentanten der Rollen aus dem Aufgabenbereich „Absicherung Anmutung und Qualität“ in einem Leitfadeninterview befragt. Zwei der Befragten waren weiblich, 18 männlich. Das mittlere Alter betrug 42,3 Jahre ($SD=7,9$). Sechs der Befragten gaben an eine Ausbildung, 14 ein abgeschlossenes Studium als höchsten Bildungsgrad zu besitzen. Die Befragten verteilten sich wie folgt auf die verschiedenen Rollen:

- 1x Ersteller VR-Inhalt, 5x Produktionsplanung, 3x Qualitätssicherung, 5x Entwicklung, 3x Design, 3x Entscheidungsgremium

Der Leitfaden fokussierte zum einen auf die Aufgabenlösungsprozesse und zum anderen auf die bisherige Nutzung des VR-Systems. Die Interviews dauerten durchschnittlich 40 Minuten, alle Gespräche wurden mit Einverständnis der Teilnehmer aufgezeichnet. Abschließend wurden die Interviews transkribiert und hinsichtlich der Aufgabenziele sowie der wahrgenommenen Barrieren bei der Nutzung des VR-Systems für den Aufgabenlösungsprozess analysiert.



Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung eines virtuellen Modells für den Aufgabenbereich „Absicherung Anmutung und Qualität“

Das VR-System, das für den Aufgabenlösungsprozess eingesetzt wurde, ist eine „Semi-immersive VR“ in einer Powerwall Ausführung. Die Powerwall bietet die Möglichkeit, auf einer Breite von 6 und einer Höhe von 2,25 Metern zu projizieren. Die maximal darstellbare Auflösung der Powerwall beträgt 3200 x 1200 Pixel. Zur Projektion wird ein Kinoprojektor¹ verwendet, der per Rückprojektionsverfahren auf die Projektionsfläche projiziert. In die Präsentationssoftware ist ein Echtzeit-Raytracing Renderer² integriert, mit dessen Hilfe innerhalb kürzester Zeit ein komplett artefaktfreies Rendering in voller Auflösung generiert wird. Die verwendeten virtuellen Modelle werden mit Hilfe von im Entwicklungsprozess erzeugten CAD-Geometrien erstellt. Die Interaktion der beurteilenden Rollen mit den virtuellen Modellen wird durch eine Mittelsperson – den Operator – „auf Zuruf“ realisiert³. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Darstellung eines virtuellen Modells in virtueller Umgebung, so wie es für den Aufgabenbereich „Absicherung Anmutung und Qualität“ verwendet wird.

3.3 Rollen und Aufgabenziele

Das Leitfadenterview hatte den Zweck, die Aufgabenziele der beteiligten Rollen sowie den Einsatz des VR-Systems im Aufgabenbereich „Absicherung Anmutung und Qualität“ zu ermitteln. Dieser Aufgabenbereich behandelt die Überprüfung der Entwicklungsdaten hinsichtlich produktspezifischer Kriterien sowie der Identifikation möglicher Fehler. Durch

¹ Bei dem verwendeten Gerät handelt es sich um einen 4K Projektor mit einer Lichtleistung von 10000 ANSI Lumen.

² Bei dem verwendeten Raytracing Renderer wird die Schattenberechnung mit Hilfe eines Ambient Occlusion Ansatzes realisiert.

³ Der Grund hierfür liegt darin, dass es sich bei VR-Systemen um Spezialsysteme handelt. Eine intuitive Interaktionsmöglichkeit für ungeschulte Nutzerinnen und Nutzer ist zurzeit nicht gegeben. Die Navigation wird in dem System über eine 3D-Spacemouse durchgeführt. Die Bedienung dieses Eingabegeräts erfordert Übung und ist daher nicht für jede der teilnehmenden Rollen möglich.

diese Überprüfung sollen nachträgliche, kostenintensive Änderungen am Endprodukt verhindert werden. Im betrachteten Fall sind die produktspezifischen Kriterien zum einen die Qualität (bspw. Bauteilübergänge und Teilepassungen und zum anderen die Anmutung (bspw. Designkanten und Bauteiloberflächen) des Produktes unter Berücksichtigung von Produktionseinflüssen und der Herstellbarkeit. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die ermittelten Zusammenhänge zwischen den Rollen und Aufgabenzielen. Nachfolgend werden die Rollen, ihre spezifischen Aufgabenziele sowie der Einsatz des VR-Systems zum Erreichen der Aufgabenziele erläutert.

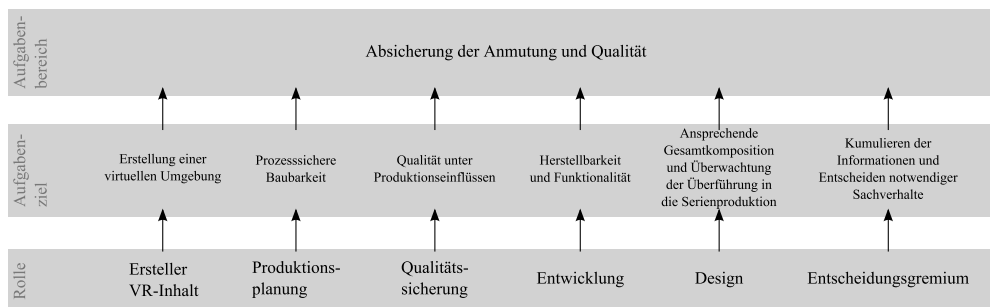


Abbildung 2: Rollen und deren Aufgabenziele im Aufgabenbereich „Absicherung Anmutung und Qualität“

Die Rolle Ersteller VR-Inhalt erstellt die virtuelle Umgebung.

- **Aufgabenziel:** Erstellung einer virtuellen Umgebung, die von allen beteiligten Rollen zur Erreichung ihres Aufgabenziels verwendet werden kann.
- **VR-Verwendung:** Erstellung des von anderen Rollen beurteilenden VR-Inhaltes.

Die Rolle Produktionsplanung plant die Herstellung eines Produktes.

- **Aufgabenziel:** Realisierung der prozesssicheren Reproduzierbarkeit des Produktes unter Prämissen der Herstellbarkeit.
- **VR-Verwendung:** Darstellung und Beurteilung von Produktionseinflüssen anhand des virtuellen Modells.

Die Rolle Qualitätssicherung führt die Kontrolle der Qualität des Endproduktes aus.

- **Aufgabenziel:** Evaluation der Qualität sowie deren Einhaltung bei der Reproduzierung des Produktes über den Produktlebenszyklus.
- **VR-Verwendung:** Beurteilung aller relevanten Aspekte, die die Qualität des Endproduktes beeinflussen.

Die Rolle Entwicklung führt Aufgaben im Bereich Konstruktion aus.

- **Aufgabenziel:** Umsetzung des Designs in ein herstellbares und funktionierendes Produkt.

- VR-Verwendung: Darstellung komplexer, entwicklungsbedingter Probleme am Endprodukt (Transferleistung).

Die Rolle Design wirkt gestalterisch oder formgebend am Entwicklungsprozess mit.

- Aufgabenziel: Entwurf einer ansprechenden Gesamtkomposition sowie die Überwachung der Überführung in die Serienproduktion.
- VR-Verwendung: Überprüfung des Endproduktes hinsichtlich designrelevanter Kriterien.

Die Rolle Entscheidungsgremium trifft übergeordnete Entscheidungen, die die anderen Rollen beeinflussen.

- Aufgabenziel: Kumulieren und Entscheiden bestimmter Sachverhalte für einen erfolgreichen, kostengünstigen und termingerechten Start der Serienproduktion unter Einhaltung aller Kosten-, Design- und Qualitätsvorgaben.
- VR-Verwendung: Evaluierung des Produktes und Beurteilung entscheidungsrelevanter Sachverhalte.

Die aufgeführten Rollen, die am Aufgabenbereich „Absicherung der Anmutung und Qualität“ beteiligt sind, verfolgen allesamt unterschiedliche Aufgabenziele. Alle Rollen haben die Absicht alle Aufgabenziele bestmöglich zu bearbeiten und somit kostenintensive nachfolgende Änderungsprozesse am Produkt zu vermeiden. Um dies sicherzustellen gilt es im Aufgabenlösungsprozess kontinuierlich kollaborativ zu arbeiten, um den bestmöglichen Kompromiss hinsichtlich der Aufgabenziele zu finden.

3.4 Identifikation und Klassifikation der Barrieren

Das Leitfadenterview bezog sich zudem auf subjektiv empfundene Barrieren, die einen erfolgreichen Aufgabenlösungsprozess bei der Verwendung des VR-Systems verhindern. Die identifizierten Barrieren wurden in die drei Kategorien *technische Barrieren*, *Interaktionsbarrieren* und *psychologische Barrieren* eingeteilt. Nachfolgend werden die Kategorien sowie die identifizierten Barrieren erläutert. Zudem zeigt Tabelle 2 die Rollenzuordnung der Barrieren und ermöglicht somit einen Rückschluss auf die verschiedenen Aufgabenziele. Da die Rolle „Ersteller VR-Inhalt“ eine vermittelnde und keine beurteilende Funktion einnimmt, ist sie in der Tabelle nicht aufgeführt.

3.4.1 Technische Barrieren

Die Kategorie *technische Barrieren* bezieht sich auf Hindernisse im Aufgabenlösungsprozess, die auf die technische Ausführung des VR-Systems zurückzuführen sind.

Mangelnde Projektionsqualität: Die Kombination aus Rückprojektionsscheibe und dem verwendeten Projektor entspricht dem aktuellen Stand der Technik. Aufgrund der Farbkonvergenz sowie der vorhandenen Projektionsfläche wirkt die Darstellung jedoch leicht unscharf. Zudem bietet die Darstellung nur geringe Kontrastwerte und eine verminderte Hellig-

keit. Hinzu entsteht aufgrund einer ungleichen Helligkeitsverteilung ein Hotspot auf der Projektionsfläche. In Summe ist die Beurteilung von dunklen Strukturen auf dunklen Flächen ist nur bei stark abgedunkeltem Umgebungslicht möglich. Die geringe Tiefenzeichnung bietet eine ungenügende Dynamik, um in diesen Bildbereichen feine Farbnuancen zu bewerten. Die Darstellung wirkt dadurch „sumpfig“.

Geringe Systemgeschwindigkeit: Beim Echtzeit-Raytracing ist keine garantierte minimale Bildwiederholfrequenz gegeben. Schnelle Kamerabewegungen um Ecken und Kanten eines Modells sind daher häufig nicht flüssig möglich. Durch zu langsame Perspektivenwechsel, langsamen Bildaufbau und verzögertes Scharfstellen des Bildes ist kaum ein Vergleich von Blickwinkeln und Perspektiven möglich, der bei physikalischen Modellen durch das physische Hin- und Zurückbewegen, das sogenannte Pendeln, um Bauteile vollzogen wird.

Fehlende Stereoskopie: Das verwendete VR-Setup unterstützt derzeit keine stereoskopische 3D-Wiedergabe der VR-Szene. Ein Kritikpunkt der Befragten ist eine mangelhafte Einschätzbarkeit von Größen, Perspektiven und Entfernungen aufgrund fehlender Tiefeninformation im Bild.

Fehlendes haptisches Feedback: Das Powerwall-System spricht ausschließlich den visuellen Wahrnehmungssinn an. Das Fehlen von haptischer Rückmeldung der Modelloberflächen und deren Strukturen wird als problematisch empfunden. Die am physischen Modell vorhandene zusätzliche Information über den Tastsinn kann Auskunft über Flächenverläufe, Über- und Unterstände, Oberflächenstrukturen und Fugenmaße eines Modells geben.

Verzerrung dargestellter Inhalte: Die große Anzahl der Betrachter während einer Präsentation führt dazu, dass mehrere Personen keinen optimalen Blickwinkel zur Powerwall einnehmen können. Diese Abweichung von der idealen Betrachterposition führt zu einer Verzerrung der wahrgenommenen Objekte.

3.4.2 Interaktionsbarrieren

Die untersuchte VR-Systemkonfiguration erlaubte eine Navigation innerhalb der virtuellen Welt nur „auf Zuruf“. Die Kategorie *Interaktionsbarrieren* bezieht sich auf Hindernisse, die bei der Beurteilung des virtuellen Modells aufgrund der für den Nutzer und die Nutzerin indirekten Navigation durch den VR-Operator entstehen.

Fehlende intuitive Bedienung: Die Teilnehmer der Präsentation müssen grundsätzlich keinerlei Vorkenntnisse zur Interaktion mit dem VR-System mitbringen, da sie dem VR-Operator beschreiben, welches Detail er zeigen soll. Diese Lösung hat den Nachteil, dass immer eine Person zwischen dem Nutzer oder der Nutzerin und dem System vermittelt. Missverständnisse und unpräzise Navigation können die Folge sein. Der Nutzer oder die Nutzerin wird in eine Rezipientenhaltung versetzt, so dass die mangelnde Kontrolle über das virtuelle Modell die Beurteilung nicht detailliert möglich macht.

3.4.3 Psychologische Barrieren

Die Kategorie *psychologische Barrieren* bezieht sich auf Hindernisse im Aufgabenlösungsprozess, die auf die kognitiven Eigenschaften des Nutzers oder der Nutzerin zurückzuführen sind.

Unnatürliche Perspektiven: Durch die Möglichkeit der unbegrenzten und von physikalischen Gesetzmäßigkeiten losgelösten Navigation innerhalb der VR können während der Präsentation Perspektiven und Ansichten gezeigt werden, die ein Kunde später an seinem Auto nicht einnehmen kann. Die Möglichkeit, diese Perspektive einnehmen zu können, verführt in der VR jedoch dazu, Punkte zu kritisieren und zu optimieren, die in der natürlichen Umgebung nicht relevant sind.

Erschwerte Größenwahrnehmung: Bei einigen Befragten traten Befürchtungen auf, die realen Größen der gezeigten Objekte nicht richtig einschätzen zu können und damit eine Fehlbewertung der Situation oder der Problemstellung vorzunehmen. Dies ist ein bekanntes Problem in der VR und schon seit längerem Gegenstand intensiver Untersuchungen.

Überproportionale Vergrößerung: Bemängelt wurde der übermäßige Einsatz eines starken Zoomfaktors auf Bauteile, die in Realität nur wenige Millimeter groß sind, aber auf einer Powerwall mit mehreren Metern Breite erscheinen. Somit kann durch die überproportionale Vergrößerung eine vermeintlich höhere Relevanz des Bauteils suggeriert werden.

Geringe Immersion: Der Nutzer und die Nutzerin eines VR-Systems muss ein gewisses Maß an Übertragungsleistung von der virtuellen in die reale Welt und umgekehrt aufbringen. Die durch das VR-System Powerwall gebotene Immersion reicht nicht aus, um eine Präsenz in dem virtuellen System zu erzeugen, mit der er oder sie sich ein Gesamtbild des Produktes verschaffen kann.

Erfahrungsmangel: Eine Person, die in der Vergangenheit bereits erfolgreich Entscheidungen an virtuellen Modellen getroffen hat, hat mehr Vertrauen in ihre Urteilssicherheit als eine Person, die keine Erfahrungen gesammelt hat.

Fehlbeurteilung in VR: Selbst bei erfahrenen Nutzern und Nutzerinnen treten Fehlbeurteilungen auf, die zu einer generellen Verunsicherung bei der weiteren Nutzung führen.

Barrieren	Rollen				
	Produktionsplanung	Qualitätssicherung	Design	Entwicklung	Entsch.-gremium
Mangelnde Projektionsqualität			X	X	
Geringe Systemgeschwindigkeit		X	X	X	
Fehlende Stereoskopie	X	X	X		X
Fehlendes haptisches Feedback	X	X	X		X

Verzerrung dargestellter Inhalte			X		
Fehlende Intuitive Bedienung		X		X	
Unnatürliche Perspektiven	X	X	X	X	X
Erschwerte Größenwahrnehmung			X	X	
Überproportionale Vergrößerung			X		
Geringe Immersion			X	X	X
Erfahrungsmangel			X	X	X
Fehlbeurteilung in VR		X	X		

Tabelle 2: Rollenzuordnung der identifizierten Barrieren

4 Zusammenfassung

Die Studie zeigt, dass der Aufgabenlösungsprozess der identifizierten Rollen zur Erreichung ihrer Aufgabenziele durch VR unterstützt wird, jedoch verschiedene Arten von Barrieren das sichere Erreichen des Aufgabenziels verhindern. Die Kategorisierung in drei verschiedene Arten von Barrieren zeigt, dass die zumeist technologische Weiterentwicklung von VR-Systemen keinen ganzheitlichen Ansatz zur Verbesserung der Akzeptanz der Virtual Reality Technologie im Produktentwicklungsprozess darstellt. Die vorgestellte Studie bildet hingegen einen ersten Schritt, sich systematisch und ganzheitlich der Verbesserung der Akzeptanz von VR-Systemen im Produktentwicklungsprozess zu nähern.

Die in der Studie identifizierten Barrieren wurden im Rahmen von aufgabenspezifischen Analysen ermittelt und sind daher nur bedingt auf andere Aufgabenbereiche ausweitbar. Aus diesem Grund unterscheiden sie sich in ihrer Generalisierbarkeit von den von Wilson et al. oder von Wilson & D'Cruz formulierten, eher global gehaltenen Barrieren.

Für einen Teil der identifizierten Barrieren gibt es gegenwärtig technische Lösungen zur Behebung. So kann beispielsweise das Problem der fehlenden Stereoskopie bzw. dem damit einhergehenden Mangel an Immersion durch die Verwendung einer CAVE oder eines HMD beseitigt werden. Dies zieht jedoch eine deutliche Reduktion der Kollaborationsfähigkeit sowie zusätzlich die Gefahr von Simulator-Sickness Erscheinungen nach sich. Dieses Beispiel belegt, dass eine rein technische Verbesserung das Risiko neuer Barrieren birgt.

Aus diesem Grund sollten in weiteren Studien insbesondere Wechselwirkungen analysiert werden, die zwischen technischen und nutzerbezogenen Merkmalen auftreten. Des Weiteren sollte experimentell überprüft werden, wie sehr gezielte technische Verbesserungen zu einer

Reduktion der psychologischen und Interaktionsbarrieren beitragen können. Hierzu kann die Rollenzuordnung der Barrieren dienen, indem auf die am häufigsten wahrgenommenen Barrieren fokussiert wird.

Bei der Konfiguration von VR-Systemen muss zudem genau analysiert werden, welche technischen Anforderungen sich aus dem Aufgabenlösungsprozess ergeben. Bei Evaluationsaufgaben müssen die Nutzer und Nutzerinnen z.B. die Einhaltung aller Kriterien, die für die Beurteilung an physischen Modellen in der natürlichen Umgebung relevant sind, sicher überprüfen können. Hilfreich könnte hierbei die Entwicklung eines Instrumentariums zur systematischen Erhebung der nutzer- und aufgabenbezogenen Anforderungen an das VR-System sein.

Literaturverzeichnis

- Burdea, G. C. & Coiffet, P. (2003) *Virtual Reality Technology*. 2nd Edition. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd.
- Moreau, G., Fuchs, P., & Stergiopoulos, G. (2004). Applications of Virtual Reality in the manufacturing industry: from design review to ergonomic studies. *Mécanique & Industries*, 5, 171-179.
- Mujber, T. S., Szecsi, T., & Hashmi, M. S. J. (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156, 1834–1838.
- Oehlschlaeger, H. (2008). Virtuelle Produktentwicklung in der Konzeptphase von Nutzfahrzeugen. In Seiffert, U. & Rainer, G. (Hrsg): *Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag, S. 58-74.
- Ottosson, S. (2002). Virtual reality in the product development process. *Journal of Engineering Design*, 13 (2), 159 – 172.
- Straub, K. & Riedel, O. (2006). Virtuelle Absicherung im Produktprozess eines Premium-Automobilherstellers. In Dietrich, L. & Schirra, W. (Hrsg): *Innovationen durch IT*. Berlin: Springer, S. 189-205.
- Wilson, J. & D’Cruz, M. (2006). Virtual and interactive environments for work of the future. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64 (3), S. 158-169
- Wilson, J., Eastgate, R., D’Cruz (2002). Structured Development of Virtual Environments. In Stanney K. (Hrsg.): *Handbook of Virtual Environments. Design, Implementation, and Applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates
- Zachmann, G., Gomes de Sa, A. & Jakob, U. (1999). Virtual Reality as a Tool for Verification of Assembly and Maintenance Processes. *Computers and Graphics* 23 (3), 389-403

Kontaktinformationen

Martin Rademacher
TU Ilmenau, FG Medienproduktion, Gustav-Kirchhoff-Straße 1, 98693 Ilmenau
AUDI AG, Abteilung I/PG-51, 85045 Ingolstadt